



Scenarios et défis
pour nourrir le monde en 2050

Contacts : bruno.dorin@cirad.fr
sandrine.paillard@paris.inra.fr
treyer@engref.fr

Colloque Agrimonde, SupAgro-Inra, Montpellier, 09 octobre 2009

Un besoin de prospectives agricoles, identifié à l'échelle internationale

➡ Après la révolution verte

- ➡ Des indices de stagnation des rendements
- ➡ Conséquences environnementales, rareté de l'eau, dégradation de la biodiversité, changement climatique
- ➡ Problèmes sur les énergies fossiles (coût croissant et GES)

➡ Croissance démographique

➡ Modification des régimes alimentaires

- ➡ apport calorique total
- ➡ part des produits carnés

Une question de sécurité alimentaire à plusieurs échelles

- ☞ La planète pourra-t-elle produire assez pour nourrir toute l'humanité ?
- ☞ La production agricole permettra-t-elle d'assurer un développement et des revenus suffisants pour que les populations pauvres rurales et urbaines puissent s'approvisionner sur les marchés alimentaires ?

3

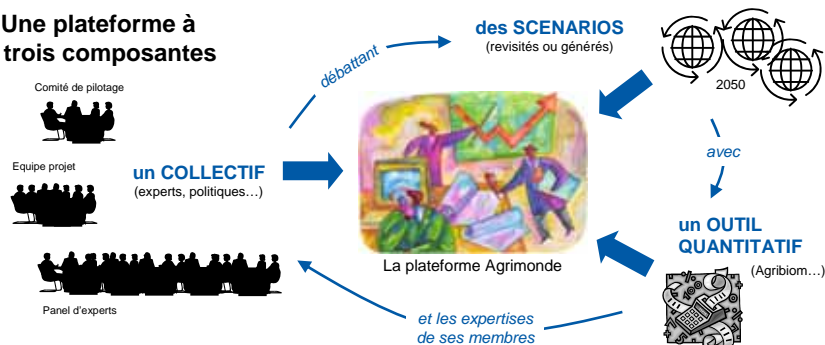
La prospective Agrimonde (introduction)

- **Un projet conjoint INRA-CIRAD** (2006-2008 = 1^{ère} phase)
 - Institut National de la Recherche Agronomique (www.inra.fr)
 - Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (www.cirad.fr)
 - sous le GIP **IFRAI** (Initiative Française pour la Recherche Agricole Internationale)

- **Objectifs**

- (1) explorer des futurs possibles d'agricultures et d'alimentations à l'horizon 2050
- (2) identifier des grands enjeux pour la recherche agronomique française
- (3) contribuer à des débats internationaux sur l'agriculture, l'alimentation, l'environnement

- **Une plateforme à trois composantes**



4

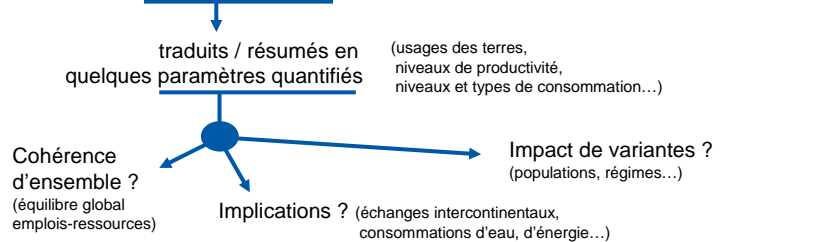
Objectifs et architecture d'Agribiom

Un module quantitatif pour
la rétro-prospective collective
et la modélisation hybride
des productions, échanges et usages globaux de biomasses

1 L' ambition

Disposer d'un outil quantitatif pour :

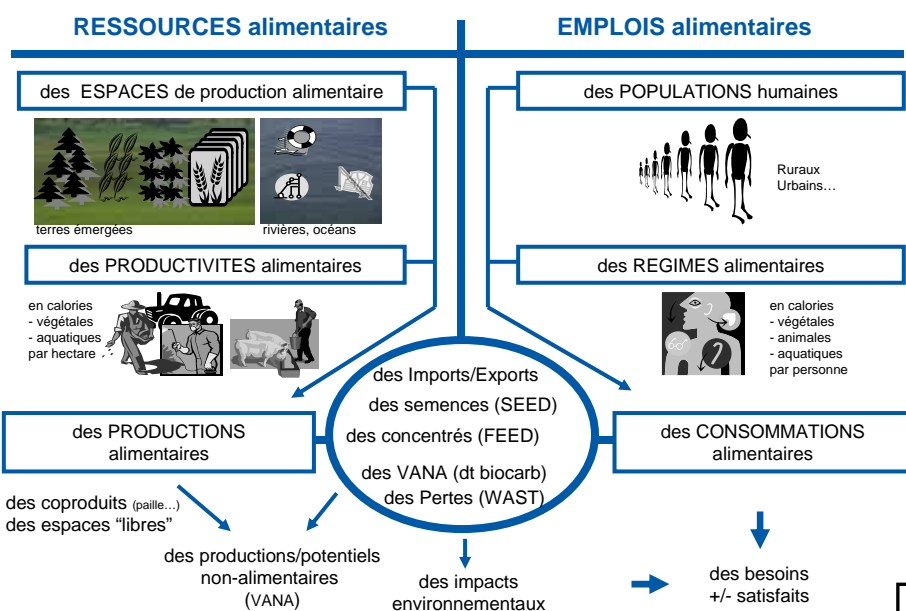
- (1) revisiter le passé,
mieux le comprendre (nouvelles estimations,
nouveaux modèles...)
- (2) débattre l'avenir
...à partir de scénarios qualitatifs (conjectures propres ou extérieures)



5

2 Le moteur comptable

Des équilibres physiques R/E de biomasses alimentaires reconstitués (1961-2003) et/ou simulés sur plus de 97% des surfaces terrestres (~150 «pays»)



6

3 Les rubriques comptables

- 5 « compartiments » de biomasses alimentaires (seulement...)



VEGETAUX

Céréales : blé, riz, orge, maïs...
 Saccharifères : canne, betterave...
 Légumineuses : pois, lentilles...
 Oléagineux : soja, arachide, coco...
 Racines : manioc, pdt, igname...
 Fruits & légumes : pomme, oignon...
 Stimulants : cacao, café, alcool...



RUMINANTS

Viandes : bovins, caprins, ovins...
 Lait, Beurre, Graisses animales...



MONOGASTRIQUES

Viandes : volailles, porc...
 Œufs...



EAUX DOUCES (Poissons...)



EAUX MARINES

Perciformes, Pélagiques... Huiles...

- D'autres productions (non-alim...)

Fibres, Tabac, Caoutchouc,
 Fourrages, Bois...

1961-2003 : 120 lignes de produits Faostat1 (Commodity Balances)

4 L'unité de compte

- La CALORIE ALIMENTAIRE

(ou équivalent pour tourteaux, mélasses...)

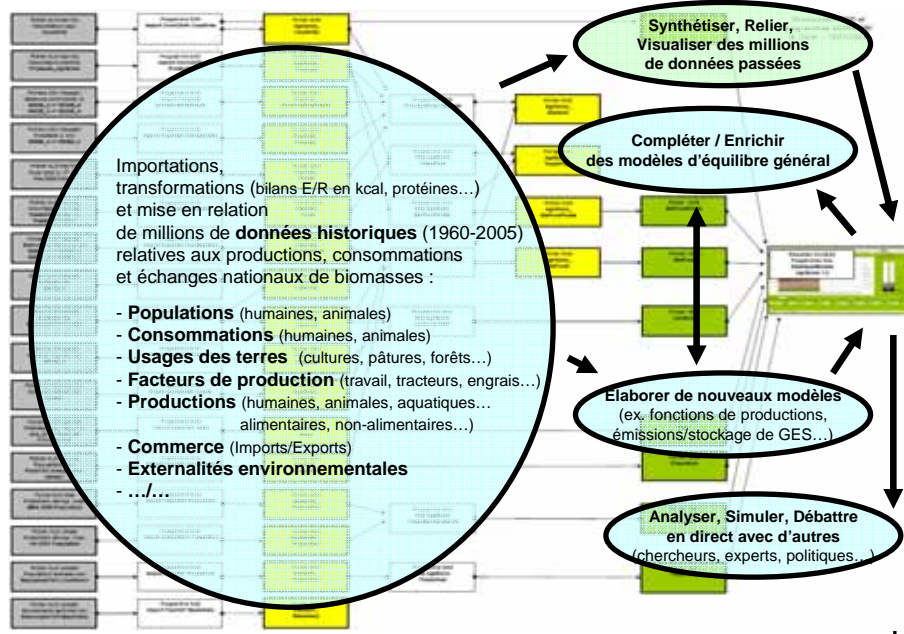
Calories totales = Glucides (4 kcal/g)
 + Protéines (4 kcal/g)
 + Lipides (9 kcal/g)

- Tonnes (ou m³) de MS

dans certains cas :
 - Fibres, caoutchouc...
 - Résidus de cultures...
 - Fourrages...
 - Bois (de chauffage ou industriel)

7

5 La convergence vers une interface interactive



8

6 Une 1^{ère} série de modèles robustes

Des fonctions de productions animales

(B. Dorin & T. Le Cotty)

■ Une modélisation via 2 fonctions interdépendantes

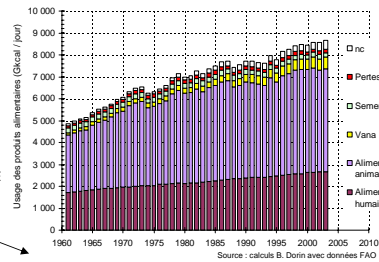
- Prod_Rumi (Gkcal) = $f(x_1, x_2, x_3, \dots, \text{Prod_Mono})$
- Prod_Mono (Gkcal) = $f(x_1, x_2, x_3, \dots, \text{Prod_Rumi})$

■ Des facteurs explicatifs (x_1, x_2, x_3, \dots) :

- **Produits alimentaires végétaux** (Gkcal)
- **Produits alimentaires animaux** (Gkcal)
- **Surfaces en pâture** (1 000 ha)
- Population active agricole (1 000 cap)
- Tracteurs (unités)
- .../...

OCDE

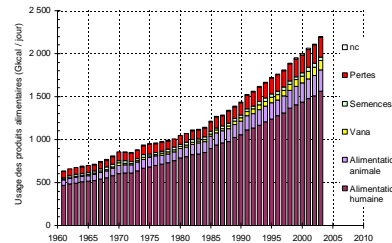
SSA
(Afrique subsaharienne)



(en 2003, les animaux OECD en consomment 3 fois plus que la population humaine SSA)

■ Plusieurs modèles disponibles :

- **linéaires** / quadratiques
- CalTot / CalPro (unité pour les inputs de Feed, les outputs...)
- avec/sans «Dummies» (région, années...)
- avec/sans «Trend» ("progrès technique")
- «**Régionaux**» (régions MEA...) ou «Typologiques» (agricoles/industriels, extensifs/intensifs...)
- .../...



■ Résultats :

- très bonne reproduction multi-échelle des 40 dernières années de productions animales
- tests et modélisations "en direct" (changements de modèles, de coefficients, de niveaux de facteurs...)

9

7 Des équilibres physiques reconstitués ou simulés



10

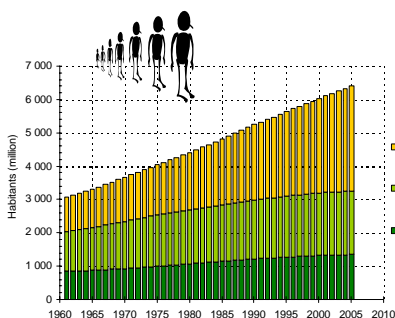
Des tendances passées aux scénarios

Une brève rétrospective de l'économie alimentaire mondiale
(1961-2003)

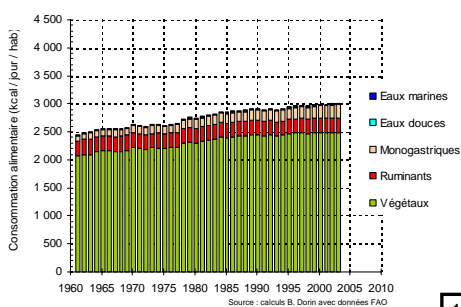
1 La trajectoire mondiale

Côté emplois :

■ La population humaine double



■ La disponibilité alimentaire s'améliore...

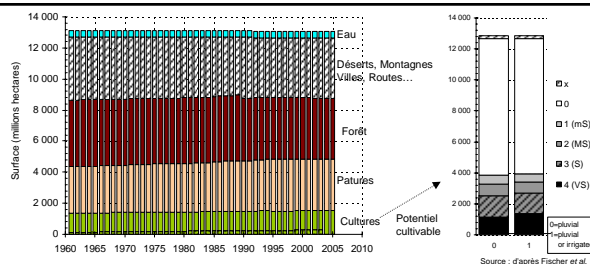


11

Côté ressources :

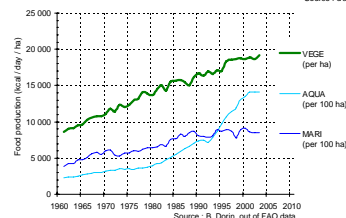
■ La surface agricole ↗

- Pâtures : + 11%
- Cultures : + 13%

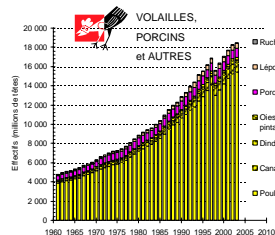
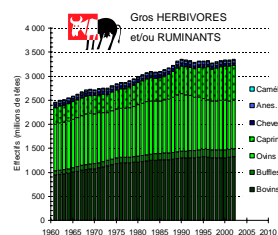


■ Les productivités ↗

- Calories végétales / ha cultivé : + 123%
- Calories végétales / actif agricole : + 53%

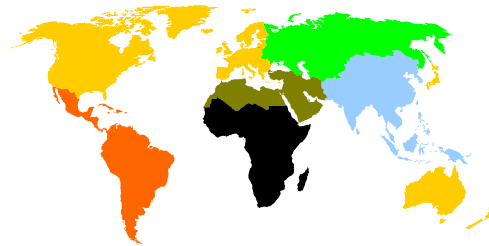


■ Les cheptels ↗



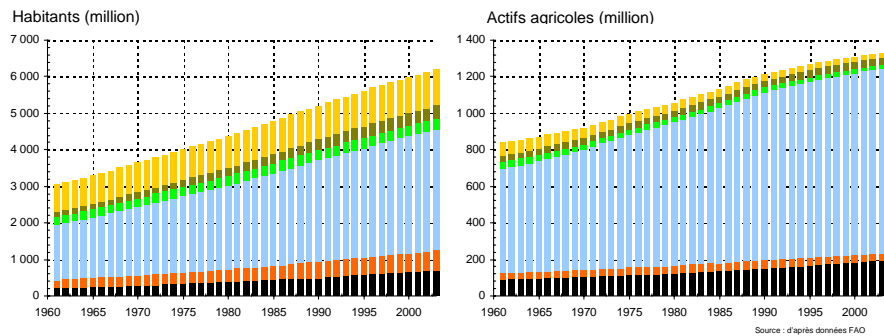
12

② Des trajectoires régionales disparates



- OCDE 1990
- Moyen Orient et Afrique du Nord
- Ex-URSS
- Asie
- Amérique latine
- Afrique Subsaharienne

■ Populations humaines : des actifs agricoles massés en Asie et Afrique

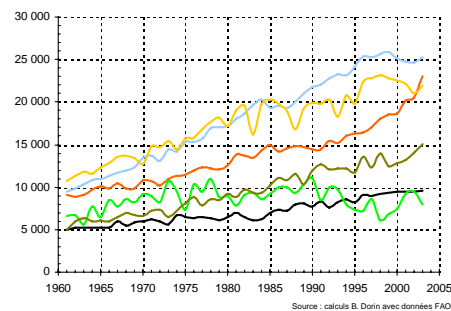


13

■ Une productivité record de la terre en ASIE

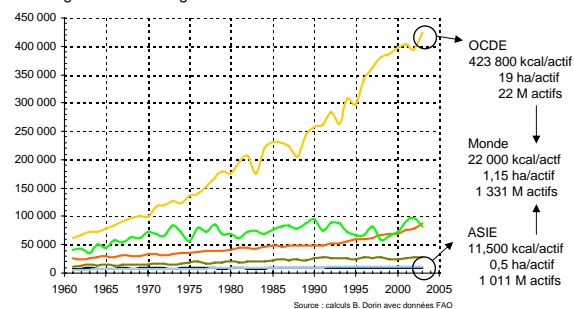
- Note : 10 000 kcal
- ~ 2,4 kg de soja
 - ~ 2,8 kg de riz
 - ~ 2,9 kg de pois
 - ~ 3,0 kg de blé
 - ~ 15,0 kg de pomme de terre
 - ~ 58,8 kg de tomate

Kcal vég. / Jour / Ha cultivé

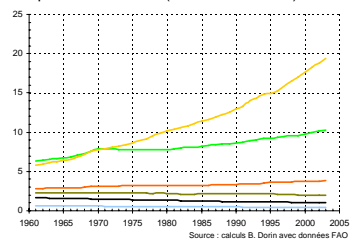


■ Un boom de la productivité du travail en OCDE

Kcal vég. / Jour / Actif agricole

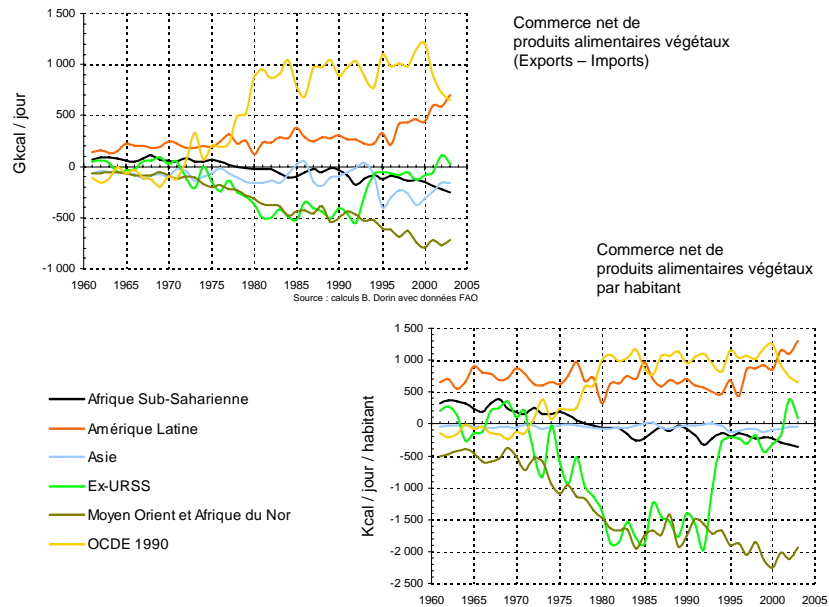


Disponibilité en terre (Ha cultivés / Actif)



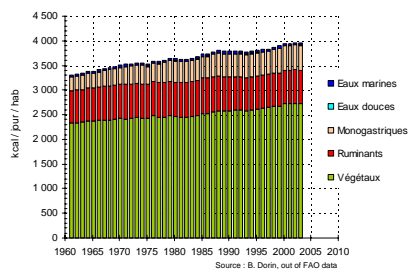
14

■ Une flambée du commerce pour écouler des excédents et combler des déficits



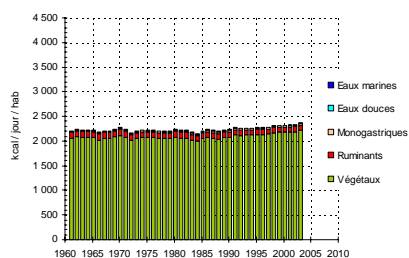
15

■ Des assiettes (disponibilités) encore très différemment garnies...



OCDE

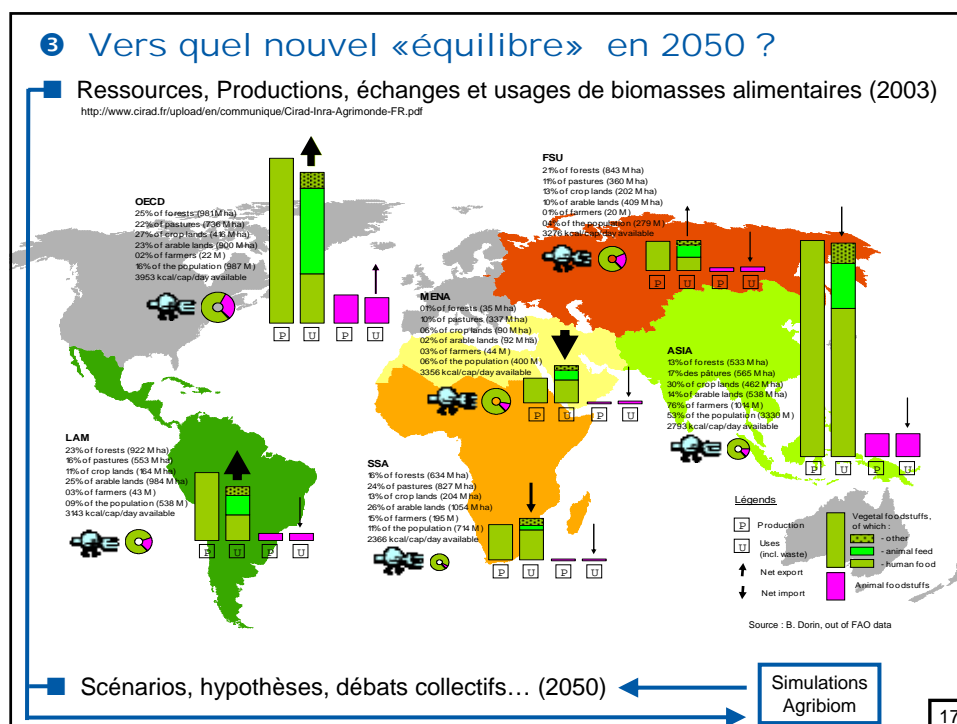
- protéines animales : 71 g/jour sur 125 (60%)
- lipides animales : 89 g/jour sur 165 (55%)



Afrique Sub-saharienne

- protéines animales : 12 g/jour sur 60 (20%)
- lipides animaux : 10 g/jour sur 48 (20%)

16



Part 3

Choix et principes de scénarios

- Horizon 2050, grandes régions MEA
- Populations régionales en 2050 identiques dans les 2 scénarios
- Apprécier la capacité de chaque région à satisfaire les besoins alimentaires de sa population

⇒ Echanges envisagés seulement après évaluation de cette capacité, sans simulation des marchés

- **Agrimonde GO** : scénario 'exploratoire' et tendanciel
- **Agrimonde 1** : scénario 'normatif' : supposer la durabilité pour mieux la comprendre les tensions et défis

Choix et principes de scénarios

- **Agrimonde 1 : un scénario possible d'agricultures et d'alimentations durables**

- Réduction sous-alimentation et excès apports nutritionnels
- Intensification écologique : des agricultures qui répondent à des besoins croissants, piliers du développement, respectueuses de l'environnement

- **Global Orchestration : le plus performant des scénarios MEA pour la réduction de la pauvreté**

- Progrès technique très rapide et libéralisation des échanges
- Mais réactivité dans la gestion des écosystèmes

19

Choix et principes de scénarios

Limites dans la prise en compte :

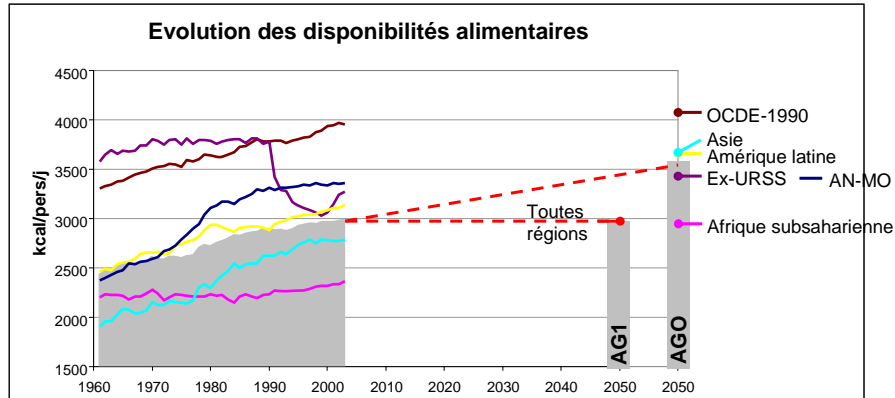
- ✓ Du changement climatique
- ✓ De la consommation d'eau et d'énergie par l'agriculture
- ✓ De la relation production agricole – croissance économique

20

Des hypothèses et bilans quantitatifs

Les hypothèses quantitatives : (1) Emplois régionaux

- Populations en 2050 : projections médianes ONU
- Consommations alimentaires en 2050 :



21

Des hypothèses et bilans quantitatifs

Les hypothèses quantitatives : (2) Ressources régionales

		Surfaces	Rendements
Cal. végétales	AGO	hypothèses MEA, variable d'ajustement	hypothèses MEA, $rdmts = f(px, progrès technique)$
	AG1	facteurs physiques de disponibilités et de qualité des sols confrontés à critères de durabilité	- Évolutions passées courbes de rendement kcal/ha/j - Cohérence avec hypothèses surfaces et impact attendu du CC
Cal. anim	AGO et AG1	Fonctions de production animales	

22

Des hypothèses et bilans quantitatifs

Les scénarios quantitatifs

Monde

		Agrimonde GO	Agrimonde 1
Emplois	Pop.	+42%	
	Conso	+20% Part animale : 23%	stable part animale : 17%
Ressources	Usage sols	Surfaces cultivées : + 21%	Surfaces cultivées : + 38%
		~ stabilité forêts (-1%)	
		↑ Patûres (+8%)	↓ patûres (-15%)
	Rdmts	+ 75%	+7%

Bilan excédentaire plus marqué dans AGO

23

Des hypothèses et bilans quantitatifs

Les scénarios quantitatifs

Bilans ressources-emplois en 2050

- **Au niveau mondial, dans les 2 scénarios, les ressources couvrent les emplois en 2050**

- Mais 3 régions importent des calories alimentaires : Afrique du Nord-Moyen Orient, Afrique sub-saharienne, Asie
- Les échanges minimum inter-régions augmentent considérablement entre 2000 et 2050

- **Cependant dans Agrimonde 1 :**

- Les déficits et surplus régionaux sont plus grands que dans Agrimonde GO
- Ainsi que les échanges minimums inter-régions

24

Des scénarios complets

Des scénarios quantitatifs aux scénarios complets

- Pour AGO, scénario complet GO du MEA
- Pour AG1, compléter les hypothèses et bilans quantitatifs par des hypothèses qualitatives

✓ Cohérence ?

✓ Leviers d'actions ?

25

Des scénarios complets

AG1, un scénario de crises

- Accélération du changement climatique
- Multiplication des crises alimentaires
- Crise énergétique

26

Part 5		
Des scénarios complets		
	Agrimonde GO <i>Nourrir la planète en privilégiant la croissance économique mondiale</i>	Agrimonde 1 <i>Nourrir la planète en préservant les écosystèmes</i>
Croissance, Dvp Migrations	Décollage agricole des PED, qui tire la croissance mondiale	
	Accélération exode rural	Stabilisation exode rural
Régulat° Gouvernan-ce	Transferts Nord-Sud massifs	
	Libéralisation poussée	UNOFS : réduction distorsions prix et volatilité, exceptions temporaires, protection environnement Multifonctionnalité
Recherche Formation Dvp agric.	Investissements massifs, publics et privés	
	Poursuite trajectoire technologique	Intensific.écologique : savoirs spécifiques / génériques mode interactif

Part 6		
Des scénarios complets		
	Agrimonde GO <i>Nourrir la planète en privilégiant la croissance économique mondiale</i>	Agrimonde 1 <i>Nourrir la planète en préservant les écosystèmes</i>
Energie	Investissements massifs	
	Hausse rapide de la demande Efficacité énergétique Agro-carburants	Inflexion demande Energies renouvelables, décentralisées/ Pile à combustible/Autonomie exploitation agricole
Environnement	Détérioration Mais biodiversité protégée par limitation surfaces cultivées	Réduction impacts agriculture (GES?) Amélioration biodiversité domestique Détérioration biodiversité sauvage
Alimentat°	Réduction inégalités d'accès	
	Progression obésité	Convergence vers 3000 kcal/hab./jour Diminution gaspillages / Diversité Politiques nutritionnelles efficaces
IIA Filières	Internationalisation, spécialisation, concentration	Hybridation Montée en puissance RSE (alimentation durable, réduction malnutrition, lutte contre obésité)

Des enseignements

.../...

- La planète peut nourrir ses habitants en 2050 mais ...
- Du contenu de nos assiettes dépendront beaucoup la santé des hommes et aussi celle des écosystèmes
 - ✓ Les régimes alimentaires pèsent beaucoup sur les bilans

ASIE	AGO	AG1
Conso. alim.	+ 34%	+7%
Part animale	24%	13%
Besoin en Gkcal / jour	22 500	16 300

- ✓ Politiques nutritionnelles et réduction des gaspillages

29

Des enseignements

.../...

- Les échanges seront nécessaires pour garantir la sécurité alimentaire
 - ✓ Ressources naturelles et populations ne sont pas réparties de la même façon
 - ✓ Le développement agricole prend du temps
- Mais le développement des agricultures locales est indispensable à l'augmentation des revenus et à la sécurité alimentaire

30

Des enseignements

.../...

- **Côté ressources, AG1 et AGO ne traduisent pas seulement 2 stratégies « surfaces-rendements »**
 - ✓ Sans innovations majeures, AG1 n'est pas durable sur le plan environnemental (GES, biodiversité, ...)
- **Défis pour l'intensification écologique : comment mieux exploiter et mieux préserver les processus écologiques ?**
- **Défis pour les systèmes d'innovation :**
 - ✓ L'intensification écologique comme option d'organisation sociale et spatiale : critères de performance, frontières villes-agriculture-nature, etc.
 - ✓ Comment sortir du 'lock-in' technologique ?

31

Des enseignements

.../...

Les régulations des échanges dans AG1

Développement par l'agriculture
 +
 Sécurité alimentaire
 +
 Préservation de l'environnement



- ✓ Éviter les ruptures d'approvisionnement pour les zones en déficit
- ✓ Éviter les distorsions de prix mais exceptions temporaires
- ✓ Révéler les coûts environnementaux

32

Merci !

Equipe projet



AOUDAÏ Maryse (Inra)
 BARRE Rémi (Cnam)
 CHAUMET Jean-Marc (Inra)
 DORIN Bruno (Cirad - Responsable analyses quantitatives)
 LE COTTY Tristan (Cirad)
 PAILLARD Sandrine (Inra - Responsable unité prospective Inra)
 RONZON Tévécia (Inra)
 TREYER Sébastien (AgroParisTech-Engref - Responsable analyses qualitatives)

Groupe d'appui



BACHELIER Bernard
 BARRET Danielle
 BOSC Pierre-Marie
 BUTAULT Jean-Pierre
 DEBAR Jean-Christophe
 DE LATTRE-GASQUET Marie
 GHERSI Gérard
 DELPEUCH Francis
 DREYFUS Fabrice
 GRIFFON Michel
 HOSTE Christian
 LACROIX Denis
 LOYAT Jacques
 PETIT Michel
 RASTOUIN Jean-Louis

Comité de pilotage



CARON Patrick
 CARSALADE Henri
 ESNOUF Catherine
 GUYOMARD Hervé
 HUBERT Bernard
 WEIL Alain

Comité d'experts



...et bien d'autres

ALLAIRE Gilles
 ARVANITIS Rigas
 BESSE Antoine
 BROSSIER Jacques
 CLEMENT OLIVIER
 COLLEU Sylvie
 COLONNA Paul
 DELEBECQUE Denis
 DRONNE Yves
 ESTABLET Pierre
 FERLIN Christophe
 FOUCHER Jean-François
 FRESCO Louise

GOSSE Ghislain
 HEBERT Anne
 HOULLIER François
 HOURCADE Jean-Charles
 KARCHER Isabelle
 KUTAS Géraldine
 LEVERVE Xavier
 PARROT Laurent
 RINGLER Claudia
 ROUDART Laurence
 SALLE Christian
 TOUREAU Valérie
 ...

Explorations prospectives Agrimonde 1 et Agrimonde GO			
Fondements et enseignements			
Les scénarios quantitatifs OCDE-1990			
		Agrimonde GO	Agrimonde 1
Emplois	Pop.	+8%	
	Conso.	stable avec hausse part animale (30 à 40%)	-25% avec baisse part animale (30 à 15%)
Ressources	Usage sols	-14M ha cult. alim } +12% +64M ha agro-carb. } ↑ surfaces irriguées (+10%)	-18M ha cult. alim } +18% +95M ha agro-carb. } surfaces irriguées stables
		↓ pâtûres (~ -20%) ↑ forêts (+ 10%)	
	Rdmts	+ 50%	Stables

35

Explorations prospectives Agrimonde 1 et Agrimonde GO			
Fondements et enseignements			
Les scénarios quantitatifs Afrique sub-saharienne			
		Agrimonde GO	Agrimonde 1
Emplois	Pop.	+ 150%	
	Conso. / hab.	+25% hausse part animale plus marquée dans AG1	
Ressources	Usage sols	+75M ha cult. alim } +61% + 39M ha en VANA } +17% surfaces irriguées	+110M ha en culture } +76% + 40M ha en VANA } +100% surfaces irriguées
		↑ pâtûres (+27%) ↓ forêts (- 45%)	↓ pâtûres, forêts (~ -10%)
	Rdmts	+ 145%	+25%

36

Explorations prospectives

Agrimonde 1 et Agrimonde GO

Fondements et enseignements

Les scénarios quantitatifs

Afrique du Nord – Moyen Orient

		Agrimonde GO	Agrimonde 1
Emplois	Pop.	Quasi doublement	
	Conso. / hab.	+3%	-10%
		baisse part végétale plus marquée dans AG1	
Ressources	Usage sols	-1M ha en culture (-1%) surfaces irriguées (+7%)	+7M ha en culture (+9%) surfaces irriguées stables
		Pas d'agro-carburants	
		↑ patûres (+12%) ↓ forêts (- 50%/-9M ha)	légère baisse patûres stabilité forêts
	Rdmts	+ 66%	+13%

Bilan calorifique déficitaire de même ampleur

Bilan calorique déficitaire de même ampleur

37

Explorations prospectives

Agrimonde 1 et Agrimonde GO

Fondements et enseignements

Les scénarios quantitatifs

Asie

		Agrimonde GO	Agrimonde 1
Emplois	Pop.	+40%	
	Conso.	+33%	+8%
		hausse part animale beaucoup plus marquée dans AG0	
Ressources	Usage sols	<div> <div>+21M ha cult. alim</div> <div>+27M ha en agro-carb.</div> </div>	<div> <div>+105M ha cult. alim</div> <div>+105M ha agro-carb.</div> </div>
		faible hausse surfaces irriguées (~+7%)	
		<div> <div>↑ patûres (+14%)</div> <div>↓ forêts (- 20%)</div> </div>	<div> <div>↓ patûres (-9%)</div> <div>↓ forêts (-10%)</div> </div>
	Rdmts	+ 85%	Stables

Bilan calorifique déficitaire

beaucoup plus marqué dans

AGI

Bilan calorique déficitaire beaucoup plus marqué dans AG1

38

Explorations prospectives Agrimonde 1 et Agrimonde GO			
Fondements et enseignements			
Les scénarios quantitatifs			
Amérique latine			
		Agrimonde GO	Agrimonde 1
Emplois	Pop.	+ 50%	
	Conso.	+20% hausse part animale	stable
Ressources	Usage sols	+95M ha cult. alim } +56% +46M ha agro-carb. } ↑surfaces irriguées (+33%)	+145M ha cult. alim } +90% +60M ha agro-carb. } ↑surfaces irriguées (+11%)
		stabilité forêt	
		↑ patûres (-9%)	baisse patûres (-20%)
	Rdmts	+ 95%	+30%
			Bilan calorique excédentaire de même ampleur
			39

Explorations prospectives Agrimonde 1 et Agrimonde GO			
Fondements et enseignements			
Les scénarios quantitatifs			
Ex-URSS			
		Agrimonde GO	Agrimonde 1
Emplois	Pop.	-15%	
	Conso.	+13% hausse part animale double dans AG0, baisse dans AG1	stable
Ressources	Usage sols	-30M ha cult. alim } +3% +35M ha agro-carb. } surfaces irriguées +9%	+97M ha cult. alim } +53% +10M ha en agro-carb. } surfaces irriguées stables
		↓ patûres (-34%) ↑ forêts (+ 11%)	↓ patûres (-16%) forêts stables
	Rdmts	+ 72%	Doubleés
			Bilan calorique excédentaires beaucoup plus marqué dans AG1
			40